



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets

15 11 Veröffentlichungsnummer: 0 254 005  
EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG A1

12

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

21 Anmeldenummer: 87108248.3

51 Int. Cl.4: F02D 31/00, F02D 41/14

22 Anmelddatum: 06.06.87

30 Priorität 23.06.86 CH 2524/86

43 Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
27.01.88 Patentblatt 88/04

54 Benannte Vertragsstaaten:  
DE FR GB IT NL

71 Anmelder: GEBRÜDER SULZER  
AKTIENGESELLSCHAFT  
Zürcherstrasse 9  
CH-8401 Winterthur(CH)

72 Erfinder: Jenzer, Jean  
Hofwiesenstrasse 17  
Ch-8304 Dietlikon(CH)

74 Vertreter: Dipl.-Ing. H. Marsch Dipl.-Ing. K.  
Sparing Dipl.-Phys.Dr. W.H. Röhl  
Patentanwälte  
Rethelstrasse 123  
D-4000 Düsseldorf(DE)

54 Verfahren zum Verbessern des Gleichlaufs einer Hubkolbenbrennkraftmaschine und  
Hubkolbenbrennkraftmaschine zum Ausüben des Verfahrens.

57 Bei diesem Verfahren wird der Gleichlauf der Motorwelle (12, 22) verbessert, indem die Torsionsschwingungen der Motorwelle minimiert werden, wobei der indizierte Zylindermitteldruck und damit die anregenden Momente eines oder mehrerer Zylinder verändert werden. Diese Veränderung erfolgt durch Verändern der Brennstoff-Einspritzmenge eines oder mehrerer Zylinder mit Hilfe von Korrektursignalen, die aus der Fourier-Analyse der Torsionsschwingungen bestimmt werden. Das Verfahren ist besonders wirksam bei dieselgetriebenen elektrischen Generatoren, wo die Erregungsfrequenz für Torsionsschwingungen erster und zweiter Ordnung in der Nähe der elektrischen Eigenfrequenz des Generators liegen. Im Verbundnetz kann damit vermieden werden, dass das mechanische Wellensystem gegen das starre Netz schwingt. Es treten keine Leistungspendelungen auf.

EP 0 254 005 A1

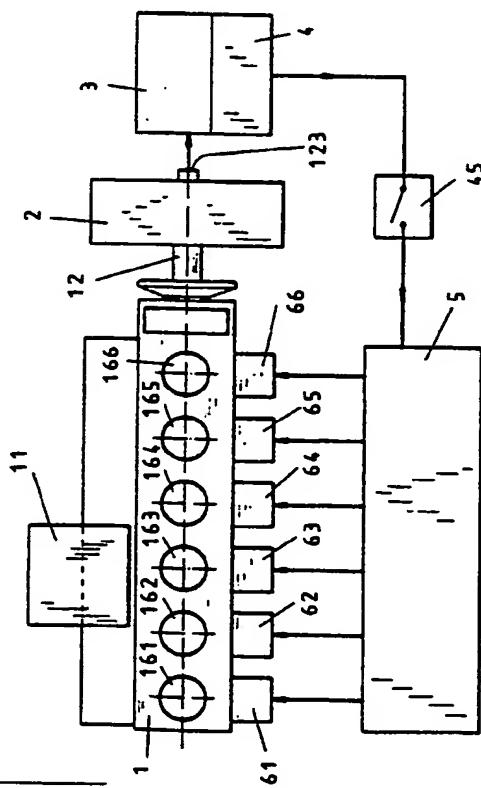


FIG. 1

**Verfahren zum Verbessern des Gleichlaufs einer Hubkolbenbrennkraftmaschine und Hubkolbenbrennkraftmaschine zum Ausüben des Verfahrens**

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Verbessern des Gleichlaufs einer Hubkolbenbrennkraftmaschine mit volumetrischer Brennstoffzufuhr, im stationären Betriebszustand, mit drei oder mehr Zylindern, sowie einer Hubkolbenbrennkraftmaschine zum Ausüben des Verfahrens.

Die Steuerung und Ueberwachung des Gleichlaufs derartiger Hubkolbenbrennkraftmaschinen, wie beispielsweise Dieselmotoren, erfolgt bisher mit der Ueberwachung der Drehzahl der Abtriebswelle oder der Welle einer vom Motor angetriebenen Maschine. Die Regelung selbst erfolgt über die Aenderung der Einspritzmenge aller Einspritzpumpen, welche in einem bestimmten Zyklus den einzelnen Zylindern zugeschaltet werden.

Diese bekannte Art der Regelung berücksichtigt und regelt die Konstanz der Drehzahl in dem Sinne, dass mit der Veränderung der Einspritzmenge diese für sämtliche Zylinder in gleicher Weise verändert wird, wenn man davon aus geht, dass die Einspritzmenge in jedem Zylinder gleich gross ist.

Eine derartige Regelung nimmt keinerlei Rücksicht auf Torsionsschwingungen der Wellen, die somit bei bisher bekannten Drehzahlregelungen unberücksichtigt bleiben.

Es gibt Fälle, wo diese Art der Regelung nicht ausreichend ist und bei denen die durch Torsionsschwingungen der Wellen entstehenden Drehzahlunterschiede oder dadurch entstehende Aenderungen der Winkelgeschwindigkeit innerhalb einer Umdrehung schon störend sein können. Beispielsweise kann dieser durch Torsionsschwingungen erzeugte Ungleichlauf in dieselgetriebenen elektrischen Maschinen wie Generatoren sich störend auswirken. Bei derartigen Anlagen, die etwa mit langsamlaufenden Zweitakt-Dieselmotoren, (z.B. 80 bis 120/Min.) angetrieben werden, liegt in vielen Fällen die Erregungsfrequenz für Torsionsschwingungen erster und zweiter Ordnung der Welle (einfache oder doppelte Drehfrequenz) in der Nähe der elektrischen Eigenfrequenz des Generators. Dabei kann der Fall eintreten, dass die Amplituden der Torsionsschwingungen dieser Ordnungen dynamisch mehrfach vergrössert werden, wobei im Verbundbetrieb das mechanische Wellensystem als Ganzes gegen das starre Verbundnetz schwingt, was beispielsweise zu Leistungspendelungen führen kann. In einem selbständigen Netz (Inselbetrieb) wiederum kann dies Lichtflimmern zur Folge haben. Die Erfindung schafft hier Abhilfe und gewährleistet ein in dieser Hinsicht wesentlich verbessertes Gleichlaufverhalten der

Hubkolbenbrennkraftmaschine. Erfindungsgemäss ist ein derartiges Verfahren zum Verbessern des Gleichlaufs einer drei- oder mehrzylindrigen Hubkolbenbrennkraftmaschine, dadurch gekennzeichnet, dass die Torsionsschwingungen wenigstens einer Ordnung der Antriebswelle minimiert werden, indem der indizierte Zylindermitteldruck wenigstens eines Zylinders verändert wird. Die Erfindung betrifft ferner eine Hubkolbenbrennkraftmaschine zur Ausführung des Verfahrens sowie vorteilhafte besondere Ausführungsformen des Verfahrens bzw. der Hubkolbenbrennkraftmaschine.

Die Erfindung wird am Beispiel der Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

15 Fig. 1 schematisch einen sechszyklindrigen Dieselmotor mit Generator und erfindungsgemässer Anlage für die Verbesserung des Gleichlaufs des Dieselmotors,

20 Fig. 2, 2A, 2B und 2C je schematisch einen sechszyklindrigen Schiffsdieselmotor mit nebengeschaltetem Bordnetz-Generator und erfindungsgemässer Anlage für die Verbesserung des Gleichlaufs des Dieselmotors,

25 Fig. 3 das Poldiagramm der Torsionsschwingungen. erster Ordnung der Welle eines Sechszyylinder-Dieselmotors bzw. einer vom Dieselmotor angetriebenen Welle.

30 Der sechszyklindrige Zweitakt-Dieselmotor I mit Aufladegruppe II und mit der Welle I2 treibt einen Generator 2, wobei der Rotor des Generators, wie gezeichnet, direkt auf der Verlängerung der Welle I2 montiert oder die Rotorwelle mit der Welle I2 des Dieselmotors I gekuppelt sein kann. Die Torsionsschwingungen bzw. deren Amplituden und Winkellage werden mit dem Torsionsschwingungsmesser 3 am Wellenende I23 laufend gemessen und dem Fourier-Analysator 4 zugeführt. Im Fourier-Analysator 4 wird die Fourierzerlegung der Torsionsschwingungen in die Glieder verschiedener Ordnung durchgeführt.

35 Vorerst spritzen die Einspritzpumpen 61, 62, 63, 64, 65, 66, von denen je eine einem Zylinder I61, I62, I63, I64, I65, I66 zugeordnet ist, vorbestimmte, unter sich gleiche Mengen Brennstoff in die Zylinder. Sobald der Dieselmotor den stationären Betriebszustand erreicht hat, wird der Schalter 45 geschlossen, und die Fourier signale des Fourier-Analysators gelangen nun zur Einspritzpumpen-Steuerung 5, welche einen Rechner umfasst, der aufgrund beispielsweise der Glieder erster und zweiter Ordnung nach z.B. der Kurbelsternmethode, die anhand von Fig. 3 erklärt wird, bestimmt:

1. welcher oder welche der Zylinder I61, I62, I63, I64, I65, I66, die Anregung der Torsionsschwingungen dieser Ordnung verursachen, und

2. welche Korrektur der Einspritzmenge in welchen Zylindern erforderlich ist, um die Torsionsschwingungen dieser Ordnung zu minimieren.

Da es sich bei der Kurbelsternmethode beispielsweise um ein einfaches Näherungsverfahren handelt, erfolgt die Minimierung der Torsionsschwingungen iterativ, d.h. in mehreren Zyklen oder Schritten. Bei jedem Schritt werden Korrektursignale erzeugt, die den betreffenden Einspritzpumpen 61, 62, 63, 64, 65, 66 zugeführt werden. Aufgrund der Korrekturen stellt sich im Lauf des Dieselmotors I ein neuer stationärer Zustand ein. Nachdem dieser erreicht ist, werden in einem weiteren Regelzyklus wieder die Torsionsschwingungen gemessen und analysiert und aufgrund der Analyseergebnisse andere Korrektursignale erzeugt und die Torsionsschwingungen weiter minimiert.

In der Regel wird ein günstiger stationärer Betriebszustand mit minimalen, nicht mehr störenden Torsionsschwingungen z.B. erster und zweiter Ordnung der Welle I2 oder auch höherer Ordnungen, nach einigen Regelzyklen der beschriebenen Art erreicht.

Der Regelzyklus erstreckt sich dabei mit Vorteil über die Zeit mehrerer Arbeitszyklen (Umdrehungen) des Dieselmotors I. Damit wird erreicht, dass die stochastischen Änderungen des indizierten Zylindermitteldrucks von Zündung zu Zündung der einzelnen Zylinder I61, I62, I63, I64, I65, I66, das auszuwertende Torsionsschwingungssignal nur in vernachlässigbarer Weise beeinträchtigen.

Für die Erfassung der Torsionsschwingungen eignet sich z.B. eine unter der Bezeichnung Winkelkodierer (optical incremental encoder, Typ G 70 der Firma Litton) im Markt erhältliche Vorrichtung. Eine Einspritzpumpe, die sich für die Änderung der Einspritzmenge eignet, ist z.B. in der DE-OS 31 00 725.2-13 beschrieben. Fourier-Analysatoren sind ebenfalls bekannt und im Handel erhältlich (z.B. CAT 2515 der Firma Genrad).

Der Zweitakt-Dieselmotor I von Fig. 2 mit den sechs Zylindern I61 bis I66 treibt über die Welle 22 den Schiffsantriebspropeller 7. Das andere Ende der Kurbelwelle 22 des Dieselmotors ist über eine Kupplung I8 mit einem Uebersetzungsgetriebe 8 verbunden, welches eine hydraulische Pumpe 81 antreibt. Diese Pumpe 81 ist ein Teil eines hydrostatischen Getriebes, das zusammen mit dem hydrostatischen Motor 82 einen geschlossenen hydraulischen Druckmittelkreislauf bildet. Die Versorgung dieses Kreislaufs mit hydrostatischem Druckmittel, z.B. Öl erfolgt durch die Niederdruck-

station 83, die ein Druckmittelreservoir, eine Zuleitungspumpe, eine Überströmleitung mit Überströmventil, Filter usw. enthält. Der hydrostatische Motor 82 treibt über eine Welle 89 den elektrischen Generator 9. Die Drehzahl der Welle 89 und damit des Generators 9, wird mit dem Messfühler 84 überwacht, von welchem der gemessene Ist-Wert dem Drehzahl-Regler 85 zugeführt, und in welchem der Ist-Wert mit dem vorgegebenen Soll-Wert verglichen wird. Der Generator 9 gibt die elektrische Energie an das Bordnetz 100 ab. Bei Abweichungen von Ist- und Soll-Wert wird die Menge des den hydrostatischen Motor 82 durchströmenden Druckmittels verändert, indem die Reglersignale über die Signalleitung 86, einem Stellorgan im Motor 82 zugeführt werden. In diesem Beispiel misst der Torsionsschwingungsmesser 3 die Torsionsschwingungen der Welle des Generators 9. Die Bestimmung der Korrektursignale, welche den Einspritzpumpen 61, 62, 63, 64, 65, 66 zugeführt werden, werden in gleicher Weise, wie oben für die Anlage von Fig. I beschrieben, bestimmt. Die vom Dieselmotor I erzeugten Torsionsschwingungen, werden über den hydrostatischen Kreislauf auf den Motor 82 und die Welle des Generators teilweise übertragen.

Bei der in Fig. 2A dargestellten Schiffsdieselanlage, treibt die Welle I7 des Dieselmotors I, über die Kupplung 71 und Welle 73 den verstellbaren Schiffsantriebspropeller 72. Die Welle I7 des Dieselmotors I, auf der anderen Seite des Dieselmotors, treibt über ein Getriebe 91 den Generator 9, der den elektrischen Strom an das Bordnetz 100 abgibt. Die Torsionsschwingungen bzw. deren Amplituden und Winkellage werden mit dem Torsionsschwingungsmesser 3, an der Welle des Generators 9 gemessen und laufend dem Fourier-Analysator 4 zugeführt. Im Fourier-Analysator 4 wird die Fourier-Zerlegung der Torsionsschwingungen in die Glieder verschiedener Ordnung durchgeführt. Die Korrektursignale für die Veränderung der Einspritzmenge der Einspritzpumpen 61, 62, 63, 64, 65, 66, werden in der Einspritzpumpen-Steuerung 5, welche einen Rechner umfasst, aufgrund beispielsweise der Glieder erster und zweiter Ordnung z.B. nach der Kurbelsternmethode, die anhand von Fig. 3 erklärt wird, bestimmt.

Bei der in Fig. 2B dargestellten Schiffsdieselanlage, treibt die Welle I7 des Dieselmotors, über die Kupplung 71 die Welle 73 mit dem verstellbaren Schiffsantriebspropeller 72. Das Getriebe 92 ist als Nebengetriebe an der Welle des Dieselmotors I angeschlossen und treibt über eine Kupplung 94 den Generator 9. Der Generator 9 liefert elektrische Energie an das Bordnetz 100. Auch hier werden die Torsionsschwingungen der Welle des Generators 9 mit dem Torsionsschwingungsmesser 3 nach Amplitude und Winkellage dauernd bestimmt und dem

Fourier-Analysator 4 zugeführt. Auch hier erfolgt im Fourier-Analysator 4 die Zerlegung der Torsionsschwingungen in die Glieder verschiedener Ordnung.

Bei der in Fig. 2C dargestellten Schiffsdieselanlage, treibt die Welle 17 des Dieselmotors 1, über die Kupplung 71 die Welle 73 mit den verstellbaren Schiffsantriebspropeller 72. In dieser Anlage wird das Getriebe 93 direkt von der Welle 73 angetrieben und treibt seinerseits, über die Kupplung 94, den Generator 9. Der Generator 9 liefert elektrische Energie an das Bordnetz 100. Wiederum werden an der Welle des Generators 9 Amplitude und Winkel Lage der Torsionsschwingungen laufend gemessen und dem Fourier-Analysator 4 zugeführt. Im Fourier-Analysator 4 erfolgt die Fourier-Zerlegung der Torsionsschwingungen in die Glieder verschiedener Ordnung. Die Bestimmung der Korrektursignale für die Einspritzpumpen 61, 62, 63, 64, 65 und 66 kann bei den Anlagen von Fig. 2A, 2B und 2C in gleicher Weise, wie zu Fig. 1 beschrieben, erfolgen.

Die Verbesserung des Gleichlaufs des Dieselmotors 1 und auch der vom Dieselmotor angetriebenen Generatoren 9 erfordert, dass sich der Dieselmotor im wesentlichen in einem stationären Betriebszustand befindet. Dies ist bei Schiffsdieselanlagen allgemein, und vermehrt noch bei Schiffsdieselanlagen mit verstellbaren Schiffsantriebspropellern, im Fahrbetrieb über grössere Zeiträume der Fall. Die hydraulischen oder mechanischen Getriebe 91, 92, 93 vermögen beispielsweise die Drehzahl des Rotors 9 innerhalb gewisser Grenzen von Drehzahländerungen, wie dies bei Schiffsantrieben mit nichtverstellbarem Schiffsantriebspropeller der Fall sein kann, konstant zu halten. Da ein Schiff über mehrere Bordgeneratoren verfügt, wird häufig die vom Antriebsdieselmotor getriebene Gruppe dem Bordnetz nur im Fahrbetrieb auf offener See, wo der Antriebsmotor mit konstanter Drehzahl läuft, zugeschaltet.

Es ist auch möglich, den Rotor des Generators 9 direkt auf die Welle 73 zu setzen und den Generator für eine bestimmte Drehzahl auszulegen, die der Drehzahl des Dieselmotors bei Dauerbetrieb entspricht. Damit würde dann beispielsweise in einer Anlage, wie in Fig. 2C dargestellt, das Getriebe 93 und die Kupplung 94 entfallen. Die Torsionsschwingungen würden in diesem Falle mit dem Torsionsschwingungsmesser 3 an der Welle 73, oder an der Welle 17 gemessen.

Anhand von Fig. 3 wird die Kurbelsternmethode für die Bestimmung der Korrekturfaktoren zur Korrektur der Einspritzmenge für die Minimierung der Torsionsschwingungen erster Ordnung erläutert. Im Kurbelsternverfahren geht man beispielsweise von den vereinfachenden Annahmen aus, dass

-der mittlere indizierte Zylinderdruck eines Zylinders nicht mehr als 5 % vom Soll-Wert abweicht.

-sich die Störamplitude linear mit der Störung ändert und die Phase gleich bleibt.

-die gemessene Störung, d.h. eine gemessene Torsionsschwingung durch Korrektur des mittleren indizierten Zylinderdrucks von zwei oder in Sonderfällen einem Zylinder minimiert werden kann, d.h. die Störung durch die entsprechenden Zylinder erzeugt wird.

Die Zündfolge des Motors sei 1, 6, 2, 4, 3, 5. Im Poldiagramm 19 sind die berechneten Torsionsschwingungsvektoren 191 bis 196, erster Ordnung der Welle eines sechszyndrigen Motors für alle sechs Fälle, dass einer der Zylinder eine 5 %ige Reduktion des mittleren indizierten Zylinderdrucks erbringt, gestrichelt eingezeichnet. Diese Vektoren 191 bis 196 bilden den sogenannten Korrekturkurbelstern erster Ordnung. Die Enden dieser Vektoren 191 bis 196 liegen auf einem Kreis, dessen Mittelpunkt M nicht im Nullpunkt P des Poldiagramms liegt, sondern um einen Vektor 190 verschoben ist. Dieser Vektor 190 entspricht dem Torsionsschwingungsvektor des idealen, d.h. vollständig ausgeglichenen Motors.

Subtrahiert man von den einzelnen Vektoren 191 bis 196 je diesen Vektor 190, so erhält man den verschobenen Korrekturkurbelstern 191' bis 196'.

Dieser berechnete Kurbelstern 191' bis 196' dient nun für die Bestimmung der Korrekturen des mittleren indizierten Zylinderdrucks in einem oder zwei Zylindern.

Wird nun beispielsweise an der Welle eine Torsionsschwingung S (Amplitude und Phase) gemessen und der Vektor in den verschobenen Korrekturkurbelstern eingezeichnet, so liegt S zwischen zwei Vektoren des verschobenen Korrekturkurbelsterns, in unserem Beispiel zwischen den Vektoren 191' und 196', oder fällt in die Richtung eines der Vektoren 191' bis 196'. Die Zerlegung des Amplituden-Vektors S in die beiden Vektoren S<sub>1</sub> und S<sub>2</sub> in Richtung der beiden Vektoren des Korrekturkurbelsterns, wird also als Störung der beiden Zylinder 1 und 2 interpretiert. Da der Korrekturkurbelstern auf der Annahme von Minderleistungen der gestörten Zylinder basiert, aber die Zylinder auch zuviel leisten könnten, muss diese Zerlegung in der richtigen Vektorbasis gerechnet werden. Diese Basis ist ein Paar aus den Vektoren Z<sub>1</sub>, Z<sub>2</sub>, Z<sub>3</sub> und Z<sub>4</sub>. Der Korrekturfaktor für die zwei Zylinder einer Paarkombination ergibt sich somit direkt aus dem Korrekturkurbelstern.

In Wirklichkeit können einer, oder mehrere Zylinder gestört sein. Die vereinfachte Annahme, jede Störung auf beispielsweise zwei gestörte Zylinder zurückzuführen, macht es in der Regel notwendig,

die Minimierung iterativ, d.h. in mehreren Schritten durchzuführen. Ein einziger Korrekturfaktor für nur einen Zylinder ergibt sich dann, wenn der Vektor der gemessenen Störung mit einem der Vektoren  $191'$  bis  $196'$  zusammenfällt.

Obschon die Berechnung der Korrekturfaktoren für die Störungen erster Ordnung hier aus Gründen der Anschaulichkeit an einem graphischen Beispiel erläutert wurde, ist es zwecksmässig, die Korrekturfaktoren in der Einspritzpumpensteuerung 5 rechnerisch, d.h. numerisch zu ermitteln. In analoger Weise können auch die Korrekturfaktoren für die Minimierung der Torsionsschwingungen zweiter Ordnung bestimmt werden.

Die beschriebene Art der Minimierung der Torsionsschwingungen hat sich in der Praxis als sehr günstig erwiesen. Die Erfindung ist keineswegs auf die beschriebenen Ausführungsbeispiele beschränkt, sondern umfasst irgendwelche Verfahren zur Verbesserung des Gleichlaufs von Hubkolbenbrennkraftmaschinen, bei denen auf den indizierten Mitteldruck einwirkende Korrekturfaktoren in anderer Weise ermittelt werden.

Die Erfindung wurde anhand von Beispielen, die sich auf Dieselmotoren beziehen erläutert. Prinzipiell ist das Verfahren aber für jede Hubkolbenbrennkraftmaschine mit volumetrischer Brennstoffzufuhr zu den Zylindern anwendbar.

#### Ansprüche

1. Verfahren zum Verbessern des Gleichlaufs einer drei- oder mehrzylindrigen Hubkolbenbrennkraftmaschine im stationären Betriebszustand, dadurch gekennzeichnet, dass die Torsionsschwingungen wenigstens einer Ordnung der Antriebswelle (I2, 22) minimiert werden, indem der indizierte Zylindermitteldruck und damit die anregenden Momente wenigstens eines Zylinders (I61, I62, I63, I64, I65, I66) verändert werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der indizierte Zylindermitteldruck durch Verändern der Einspritzmenge verändert wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Torsionsschwingungen der Antriebswelle oder einer mit ihr gekoppelten weiteren Welle (I2, 22) mit einer Torsionsschwingungs-Messvorrichtung (3) laufend gemessen wird, dass die Fourier-Analyse der Torsionsschwingungen ermittelt wird, und dass in einem Rechner (5) aus Betrag und Phase der Torsionsschwingungsamplitude verschiedener Ordnung Korrekturfaktoren für die Veränderung des indizierten Zylindermitteldrucks mindestens zweier Zylinder bestimmt werden, und dass diese Korrekturfaktoren

die Einspritzmenge pro Einspritzvorgang der Einspritzpumpe (61, 62, 63, 64, 65, 66) mindestens einer dieser zwei Zylinder ändert.

4. Verfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Torsionsschwingungen erster und zweiter Ordnung minimiert werden.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Minimierung der Torsionsschwingungen iterativ, in mehreren Schritten erfolgt.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Torsionsschwingungen an der Welle (I23) eines elektrischen Generators (2, 9; 91, 92, 93), welche von der Welle (I2) der Hubkolbenbrennkraftmaschine (I) direkt oder über ein Getriebe (8, 81, 82, 83) angetrieben ist, oder welche eine Verlängerung (I23) der Welle (I2) der Hubkolbenbrennkraftmaschine ist, gemessen wird, und dass mit der Minimierung der Torsionsschwingungen der Generatorwelle (I23, 89) auch die Torsionsschwingungen der Welle (I2) der Hubkolbenbrennkraftmaschine minimiert werden.
7. Hubkolbenbrennkraftmaschine zur Ausübung des Verfahrens nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch eine Vorrichtung (3) zum Messen der Torsionsschwingungen der Antriebswelle oder einer mit dieser gekoppelten weiteren Welle, durch einen Fourier-Analysator (4), dem die Torsionsschwingungs-Messwerte zugeführt werden, durch einen Rechner (5), der aus Phase und Amplitude von Gliedern der Fourier-Analyse, Korrektursignale für die Kraftstoff-Einspritzmenge wenigstens eines Zylinders bestimmt und einer Einspritzvorrichtung (61, 62, 63, 64, 65, 66), welcher die Korrektursignale zugeführt werden, und welche die aufgrund der Korrektursignale veränderte Kraftstoffmenge in die Zylinder eingespritzt und damit den indizierten Zylindermitteldruck dieser Zylinder ändert.
8. Hubkolbenbrennkraftmaschine nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass diese 3 bis 12 Zylinder aufweist.
9. Hubkolbenbrennkraftmaschine nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass diese ein langsamlaufender Zweitakt-Dieselmotor ist.
10. Hubkolbenbrennkraftmaschine nach einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass eine axiale Verlängerung der Welle der Hubkolbenbrennkraftmaschine als Welle eines elektrischen Generators ausgebildet ist und die Vorrichtung (3) zum Messen der Torsionsschwingungen derart angeordnet ist, dass die Torsionsschwingungen der Generatorwelle (I23) misst.

II. Hubkolbenbrennkraftmaschine nach einem der Ansprüche 7 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen der Hauptwelle (I2) der Hubkolbenbrennkraftmaschine (I) und einer Nebenwelle (89) ein Getriebe (8, 81, 82, 83; 91, 92, 93) angeordnet ist, und dass die Vorrichtung (3) zum Messen der Torsionsschwingungen derart angeordnet ist, dass die Torsionsschwingungen der Nebenwelle (9, 89) misst.

5

I2. Hubkolbenbrennkraftmaschine nach einem der Ansprüche 7 bis II, dadurch gekennzeichnet, dass ein gemeinsamer Rechner für die Fourier-Analyse der Torsionsschwingungen und die Bestimmung des Korrektursignals für die Veränderung des Einspritzvorgangs der Einspritzvorrichtung (61, 62, 63, 64, 65, 66) vorhanden ist.

10

I3. Hubkolbenbrennkraftmaschine nach einem der Ansprüche 7 bis I2, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen der Hauptwelle (I2) der Hubkolbenbrennkraftmaschine (I) und einer Nebenwelle ein Getriebe angeordnet ist, und dass die Vorrichtung zum Messen der Torsionsschwingungen derart angeordnet ist, dass sie die Torsionsschwingungen der Nebenwelle (9, 89) misst.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

6

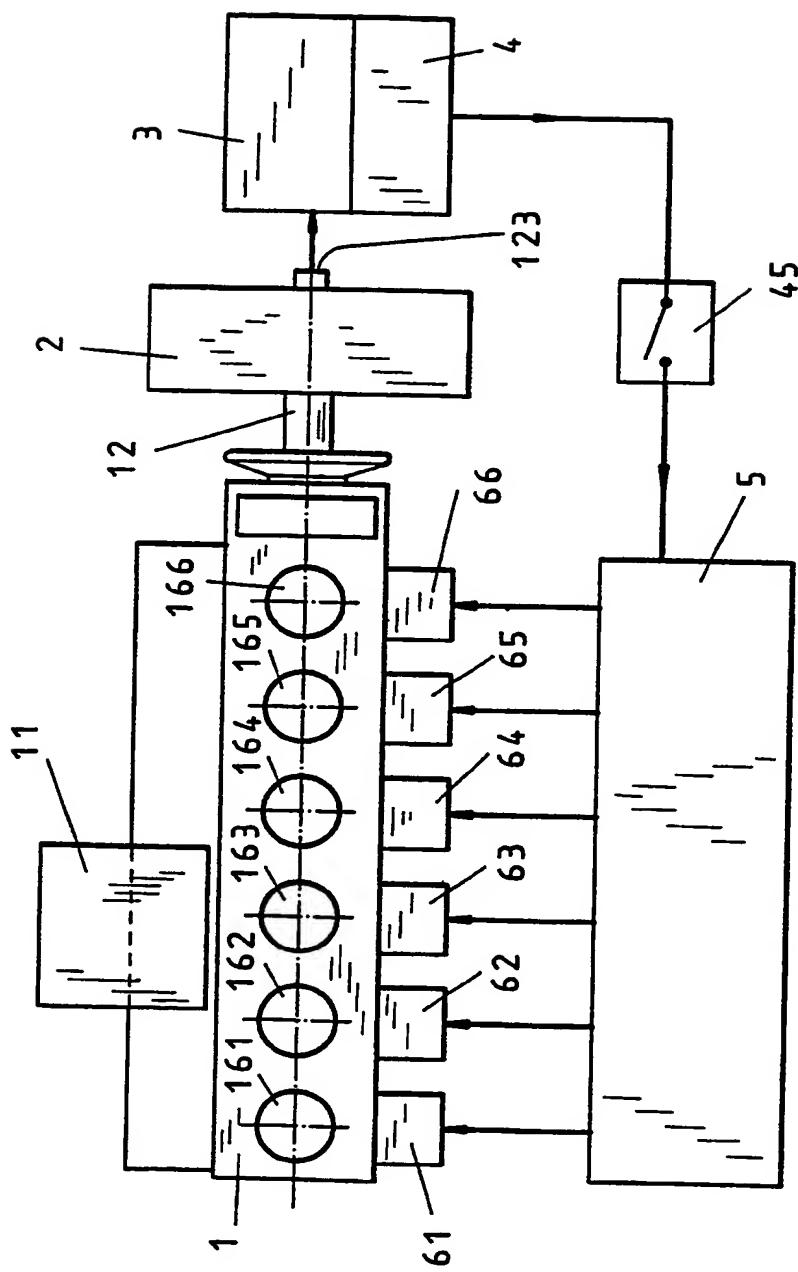
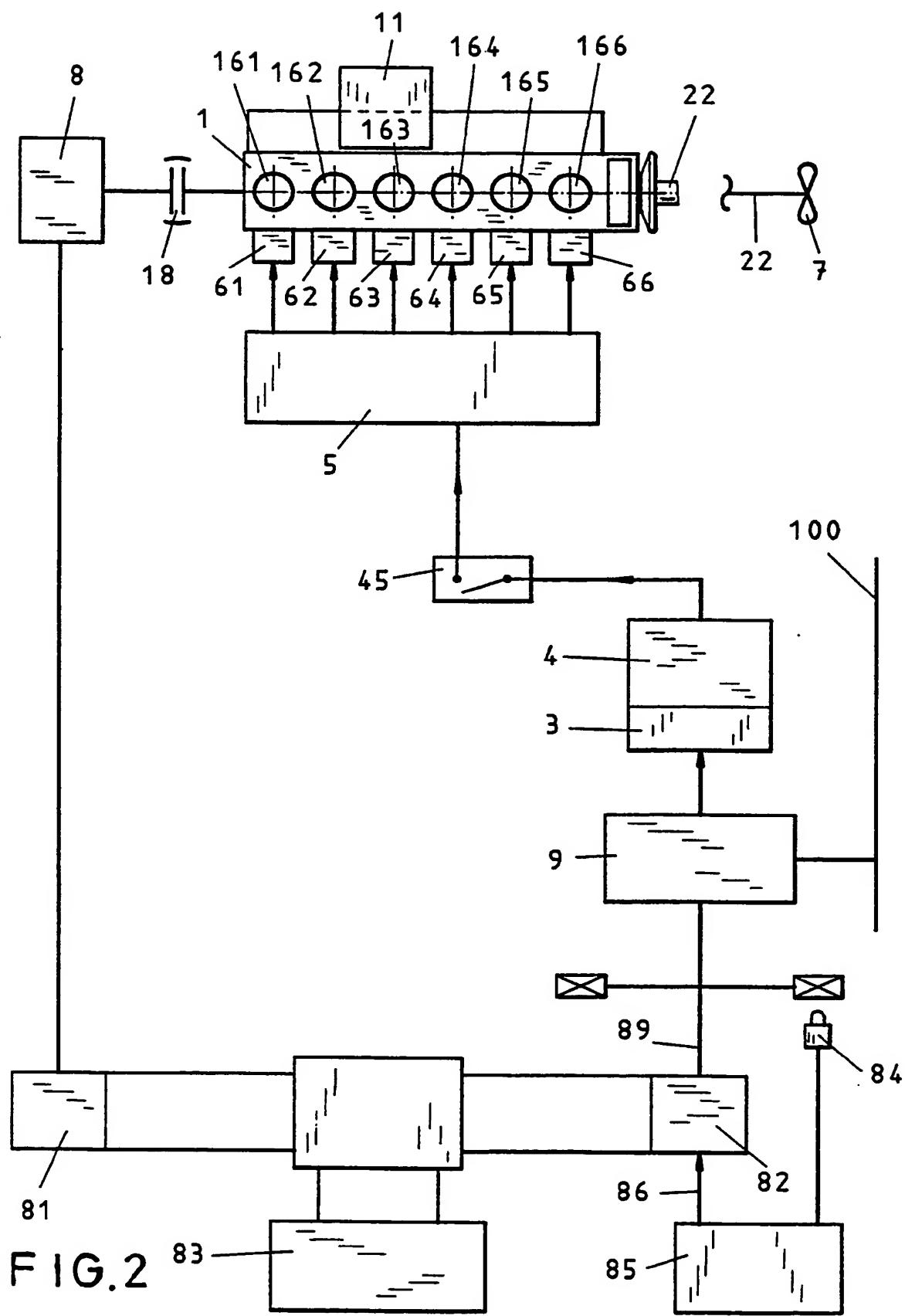


FIG. 1



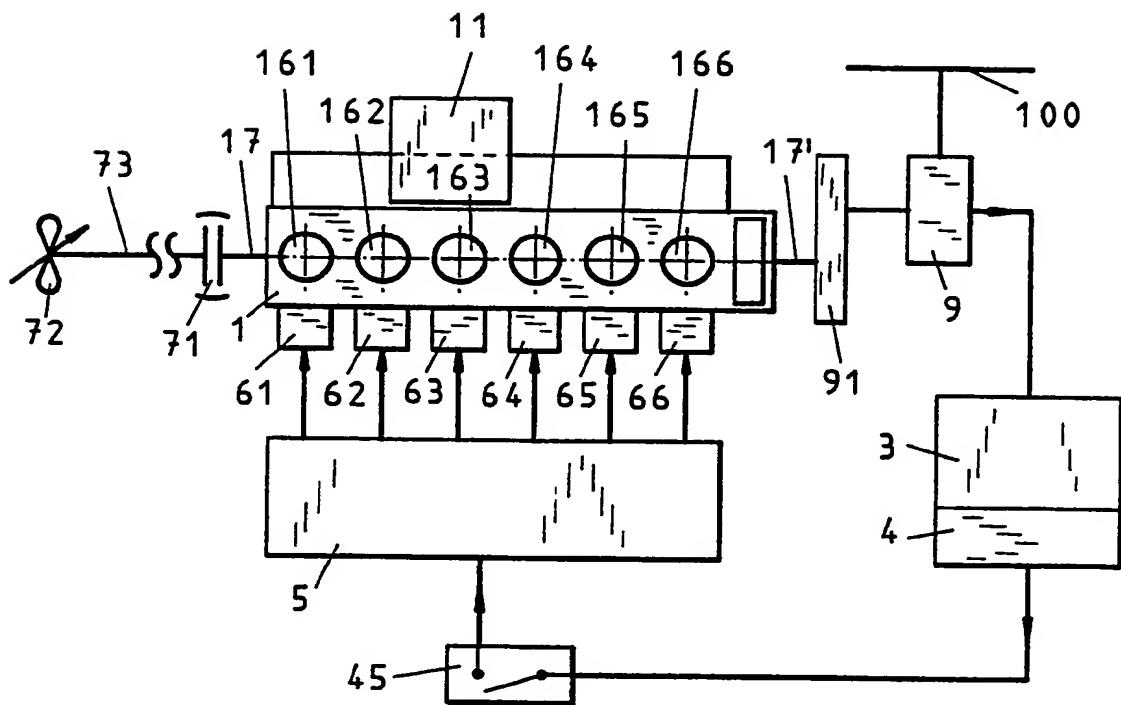


FIG. 2A

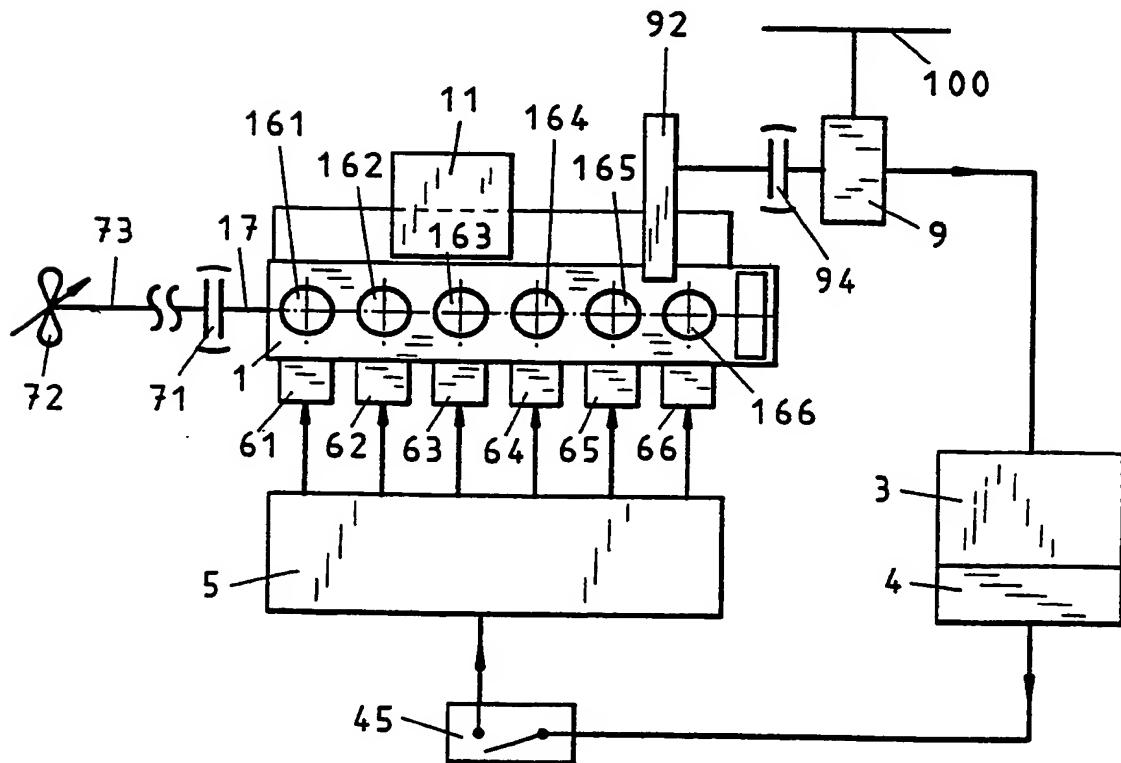


FIG. 2B

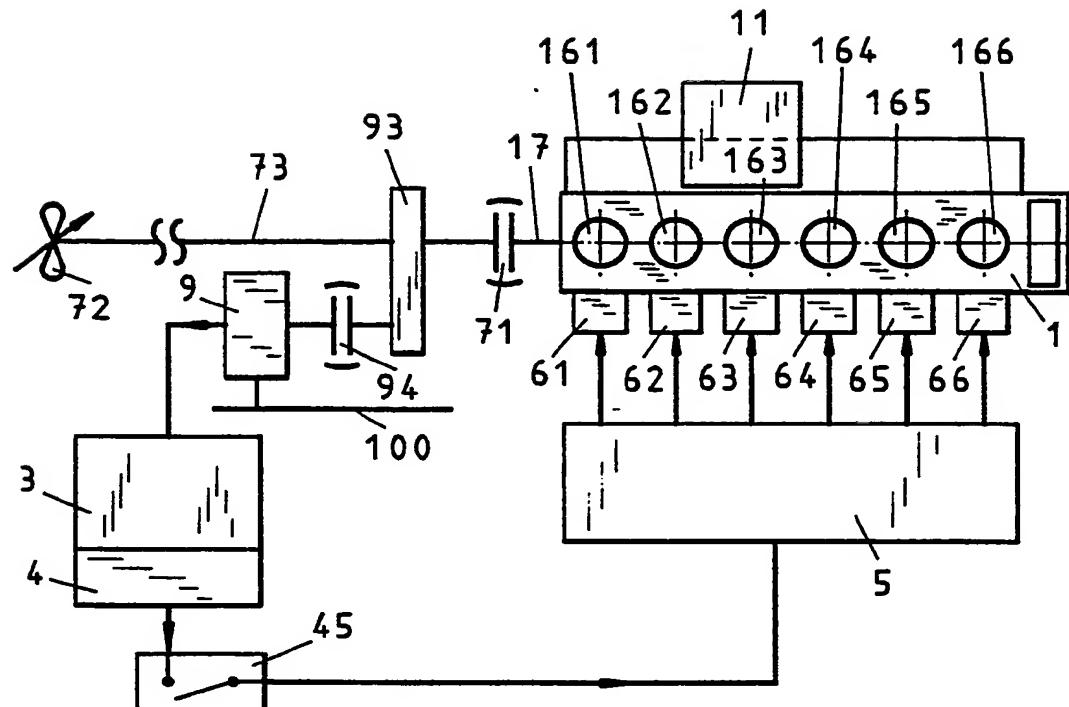


FIG. 2C

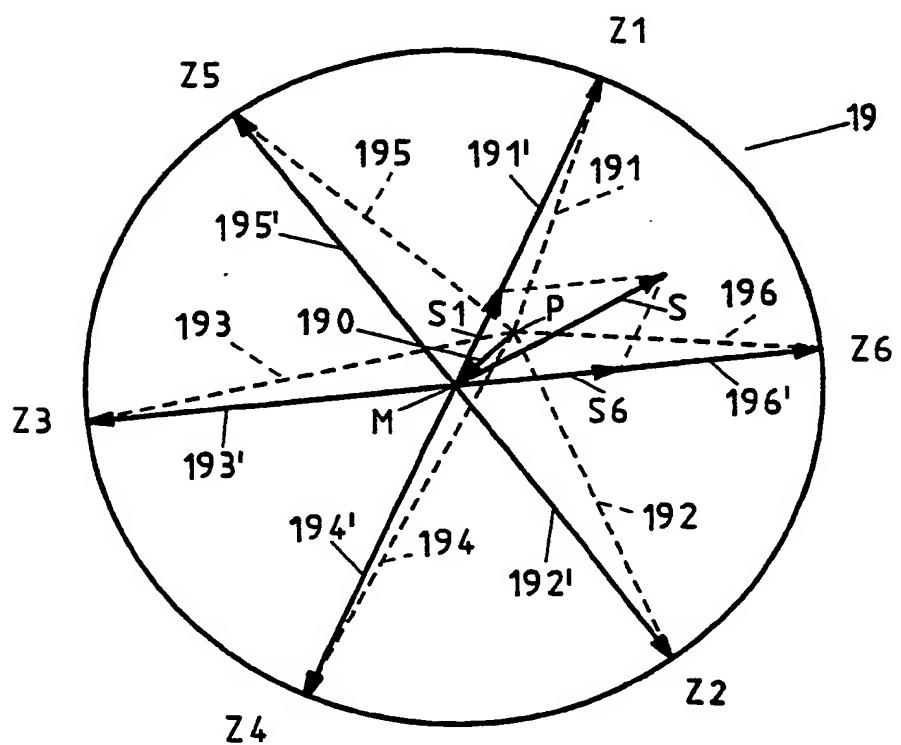


FIG. 3



EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE

| Kategorie | Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile   | Betritt Anspruch | KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl.4)        |
|-----------|---|------------------|---|
| X         | RESEARCH DISCLOSURE, Nr. 180, April 1979, Nr. 18002, Havant., Hants., GB; "Adaptive balance control for injection system"   | 1,2,5,<br>8,9,12 | F 02 D 31/00<br>F 02 D 41/14                    |
| X         | ---<br>EP-A-0 113 510 (GENERAL MOTORS CORP.)<br>* Seite 2, Zeile 6 - Seite 3, Zeile 5; Seite 3, Zeile 33 - Seite 4, Zeile 24; Seite 9, Zeile 22 - Seite 13, Zeile 11; Figuren 3-10 *  | 1,2,5,<br>8,9,12 |   |
| Y         | ---<br>PATENT ABSTRACTS OF JAPAN, Band 9, Nr. 63 (M-365)[1786], 20. März 1985; & JP-A-59 196 950 (MITSUBISHI JIDOSHA KOGYO K.K.) 08-11-1984   | 1-3,6-<br>9      |   |
| Y         | ---<br>SAE TRANSACTIONS, INDEX ABSTRACTS, 1976, Seite 36, Nr. 760146, Society of Automotive Engineers, US; S.C. HADDEN et al.: "Non-contact diagnosis of internal combustion engine faults through remote sensing"<br>* Zusammenfassung * | 1-3,6-<br>9      | RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int. Cl.4)<br>F 02 D |
|           | ---   | -/-              |   |

Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt.

|                           |   |                              |
|---------------------------|---|------------------------------|
| Recherchenort<br>DEN HAAG | Abschlußdatum der Recherche<br>25-09-1987 | Prüfer<br>LAPEYRONNIE P.J.F. |
|---------------------------|---|------------------------------|

| KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE   |  | E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmelde datum veröffentlicht worden ist |
|---|--|--|
| X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet  |  | D : in der Anmeldung angeführtes Dokument  |
| Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie |  | L : aus andern Gründen angeführtes Dokument  |
| A : technologischer Hintergrund   |  |  |
| O : nichtschriftliche Offenbarung   |  |  |
| P : Zwischenliteratur   |  |  |
| T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze                                      |  | & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument                                  |



Seite 2

| EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE   |   |                              |
|--|---|------------------------------|
| Kategorie  | Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile   | Betritt<br>Anspruch          |
| A  | INTERNATIONAL CONFERENCE ON<br>VEHICLE CONDITION MONITORING AND<br>FAULT DIAGNOSIS, London, 6.-7.<br>März 1985, Seiten 15-24,<br>Mechanical Engineering<br>Publications Ltd, London, GB;<br>J.W. FREESTONE et al.: "The<br>diagnosis of cylinder power<br>faults in diesel engines by<br>flywheel speed measurement"<br>----- | 3-7                          |
| RECHERCHIERTE<br>SACHGEBiete (Int. Cl.4)   |   |                              |
| Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt.   |   |                              |
| Recherchenort<br>DEN HAAG  | Abschlußdatum der Recherche<br>25-09-1987   | Prüfer<br>LAPEYRONNIE P.J.E. |
| <p>KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE</p> <p>X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet<br/>Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie<br/>A : technologischer Hintergrund<br/>O : nichtschriftliche Offenbarung<br/>P : Zwischenliteratur<br/>T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze</p> <p>E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmelde datum veröffentlicht worden ist<br/>D : in der Anmeldung angeführtes Dokument<br/>L : aus andern Gründen angeführtes Dokument</p> <p>&amp; : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument</p> |   |                              |